

Bibliotheek
Proefstation
Naaldwijk

A
2
S
74

:siv19

PROEFSTATION VOOR TUINBOUW ONDER GLAS TE NAALDWIJK

Borium in wortelmilieu en plant
Literatuurstudie

C. Sonneveld

juni 1991

Intern verslag nr 19

2233079

INHOUDSOPGAVE

Pagina

1. Inleiding
2. Borium in wortelmilieu
3. Relatie wortelmilieu en gewas
4. Borium in de plant
5. Verdeling van borium in de plant
 - 5.1 Boriumverdeling in paprikablاد
 - 5.2 Boriumverdeling in guzmaniablاد
 - 5.3 Boriumverdeling in anjerblad
 - 5.4 Boriumverdeling in hyppeastrumblad
6. Boriumbepaling in gewas
7. Boriumgebrek symptomen
8. Boriumovermaat symptomen
9. Conclusies

Literatuur

Bijlagen

1. INLEIDING

Borium is een van de elementen waaraan periodiek tekorten optreden in gewassen in de Nederlandse glastuinbouw. Anderzijds is het opvallend dat juist ook van dit element gemakkelijk overmaatverschijnselen optreden. De tekorten treden ook wel op onder omstandigheden die niet zijn te herleiden tot een te laag gehalte in het wortelmilieu. Blijkbaar spelen andere omstandigheden een rol.

Het doel van deze studie is informatie te verkrijgen over beschikbaarheid van borium in het wortelmilieu en de relatie daarvan met de opname door het gewas. Voorts wordt onderzoek gedaan naar het voorkomen van borium in de plant, de mobiliteit en de relatie met gebrek- en overmaatverschijnselen. Naast literatuurstudie worden niet gepubliceerde gegevens samengevat.

2. BORIUM IN WORTELMILIEU

Borium wordt veelal bepaald door waterige extractie van gronden. Heet water wordt gebruikt naast een gewone (koud)water extractie. Ook zijn goede resultaten verkregen met oplossingen van calciumchloride. De goede resultaten van de calciumchloride-extractie berusten voornamelijk op het verkrijgen van een helder grondextract, wat beter is in verband met het bepalen van borium in het extract die berust op een kleurmeting (Offiah and Axley, 1988). Met de heetwater extractie wordt meer borium geëxtraheerd dan met koud water (Novozamsky et al., 1990). De toediening van calciumchloride is niet van zo grote invloed, maar wel de grond-waterverhouding als van koud water gebruik gemaakt wordt (Saarela, 1985). Een zure extractie geeft grote verschillen met interpretatie tussen grondsoorten (Baker, 1971), wat geen problemen gaf voor een heet water extractie.

In een onderzoek met 75 kasgronden in Nederland (Sonneveld, 1986a) werden goede relaties verkregen tussen boriumgehalten in de bodemoplossing, het verzadigingsextract en het 1:2 volume extract. Tussen bodemoplossing en verzadigingsextract werd een correlatie coëfficiënt gevonden van 0.941 en tussen bodemoplossing en 1:2

volume-extract een van 0.841. De relaties zijn weergegeven in de figuren 1 en 2.

In een boriumtrappenproef in bakken gevuld met lichte zavelgrond werden op het PTG gedurende meer jaren proeven gedaan. Regelmatig werd de grond bemonsterd en onderzocht. Hierbij werden verschillende grondonderzoekmethoden vergeleken. Voor de volgende methoden zijn vergelijkingen opgenomen.

- x - B - 1:2 volume extract 0.02 M CaCl_2 , gehalte uitgedrukt in $\mu\text{mol/l}$ extract
- y - B - 1:2 volume extract (water), gehalte uitgedrukt in $\mu\text{mol/l}$ extract
- u - B - 1:2 volume extract 0.02 M CaCl_2 , gehalte uitgedrukt in $\mu\text{mol/kg}$ droge grond
- v - B - veldvochtige grond/heetwater w/w 10/30, gehalte uitgedrukt in $\mu\text{mol/kg}$ droge grond
- w - B - luchtdroge grond/heet water w/w 10/30, gehalte uitgedrukt in $\mu\text{mol/kg}$ droge grond

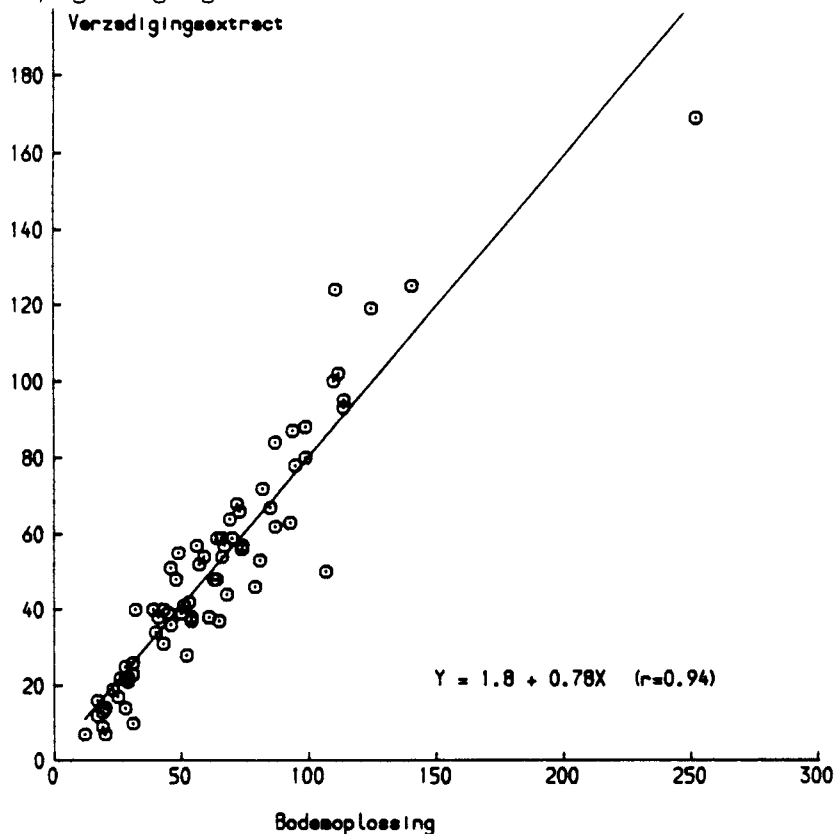


Fig. 1. De relatie tussen boriumgehalten in bodemoplossing en verzaadigingsextract bij 75 kasgrondmonsters.

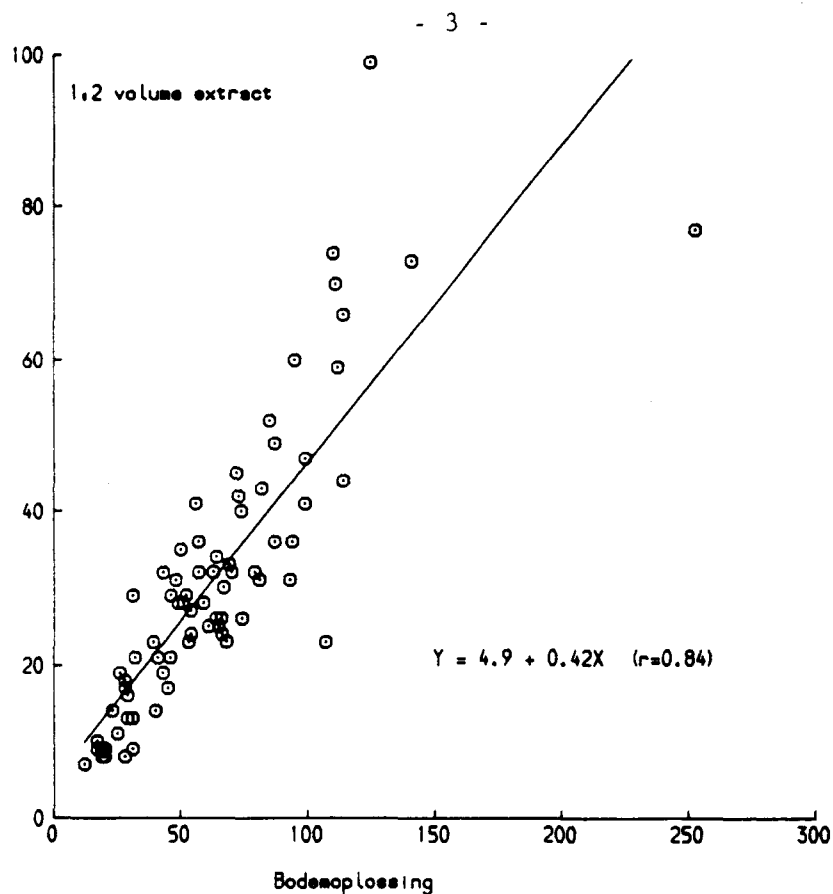


Fig. 2. De relatie tussen boriumgehalten in bodemoplossing en 1:2 volume-extract bij 75 kasgrondmonsters.

Als vergelijkingen zijn gevonden:

$$y = 1.05 x + 1.88 \quad r = 0.994$$

$$v = 2.12 u + 52.7$$

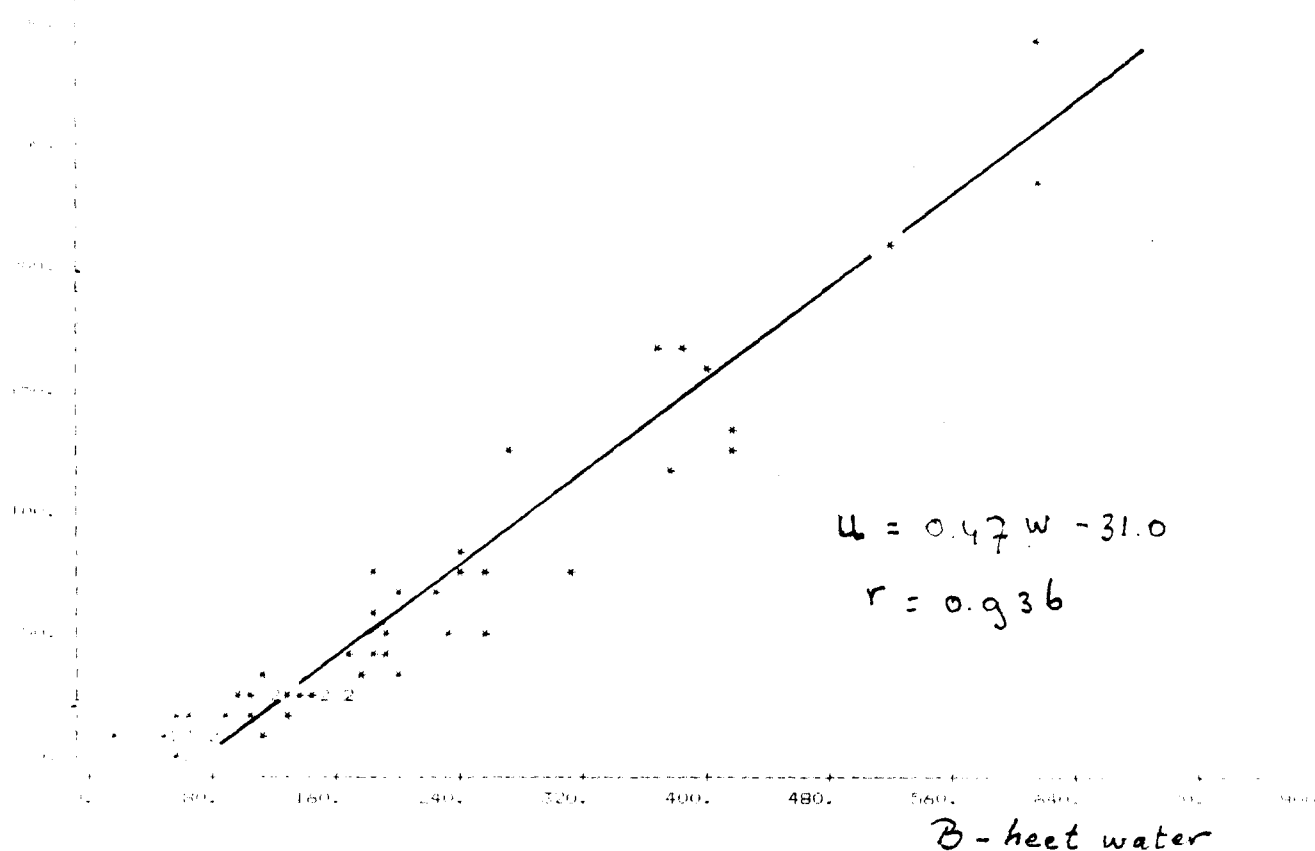
$$u = 0.43 v - 17.2 \quad r = 0.953$$

$$w = 1.87 u + 81.7$$

$$u = 0.47 w - 31.0 \quad r = 0.936$$

Genoemde vergelijkingen zijn dus alle afkomstig van één grondsoort die in de betreffende proef gebruikt werd. Uit de vergelijkingen blijkt dus dat toevoeging van CaCl_2 geen duidelijk effect heeft op de uitkomst. Bij heet water extractie worden enigszins verschillende vergelijkingen verkregen voor veldvochtige en droge grond. De relatie voor u maal w is weergegeven in Figuur 3.

B-1:2 volume extract



Figuur 3. Het verband tussen het boriumgehalte in heet water extractie van luchtdroge grond (x-as) en het boriumgehalte in het 1:2 volume extract 0.02 M CaCl_2 (y-as). Gehalten in $\mu\text{mol/kg}$ droge grond.

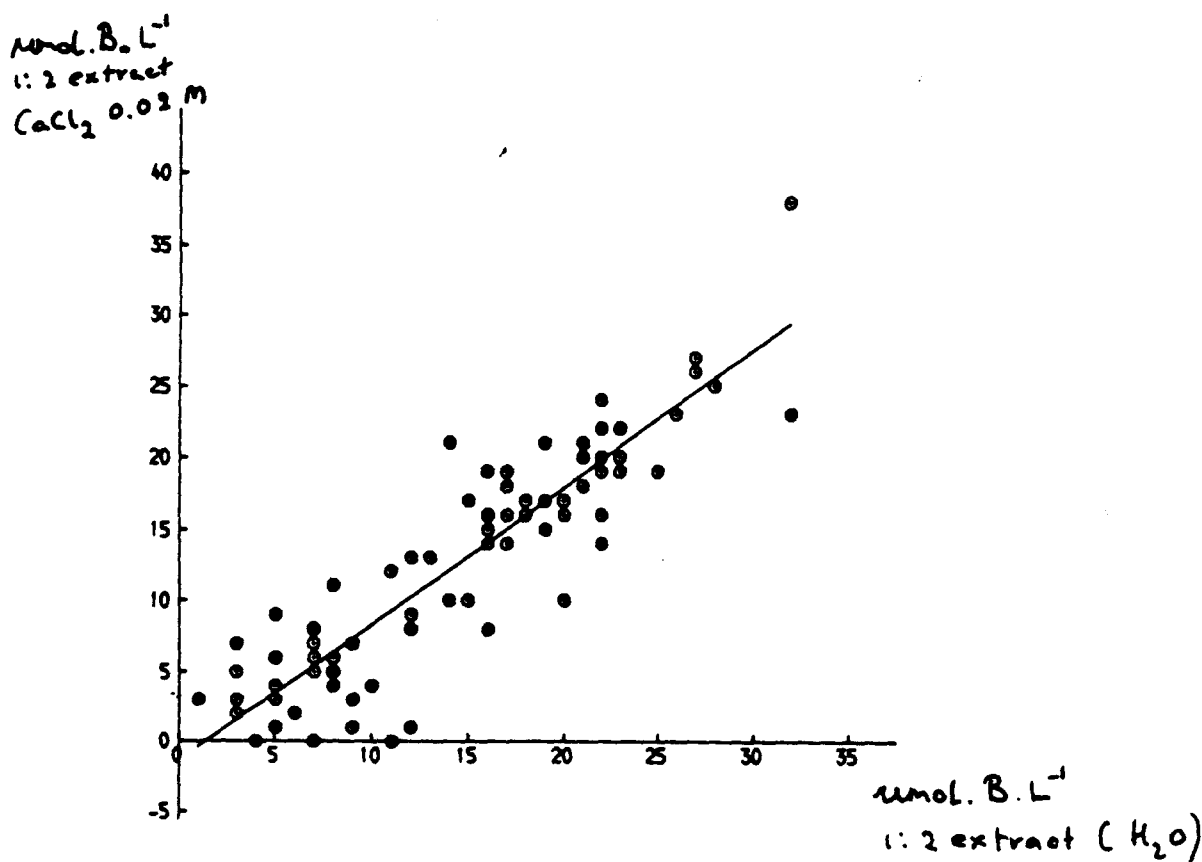
Bij een verzameling van ruim 80 kasgrondmonsters uit geheel Nederland werden eveneens de bepalingen met water en met 0.02 M CaCl_2 bij 1:2 volume extractie vergeleken. Als vergelijking werd gevonden

$$y = 0.85 x + 3.85$$

$$x = 0.96 y - 1.34$$

$$r = 0.903$$

waarin x en y zijn benoemd als hiervoor. In Figuur 4 is de relatie grafisch weergegeven.



Figuur 4. De relatie tussen borium bepaald in het 1:2 volume extract met water of 0.02 M CaCl_2 . Gehalten in umol/l extract.

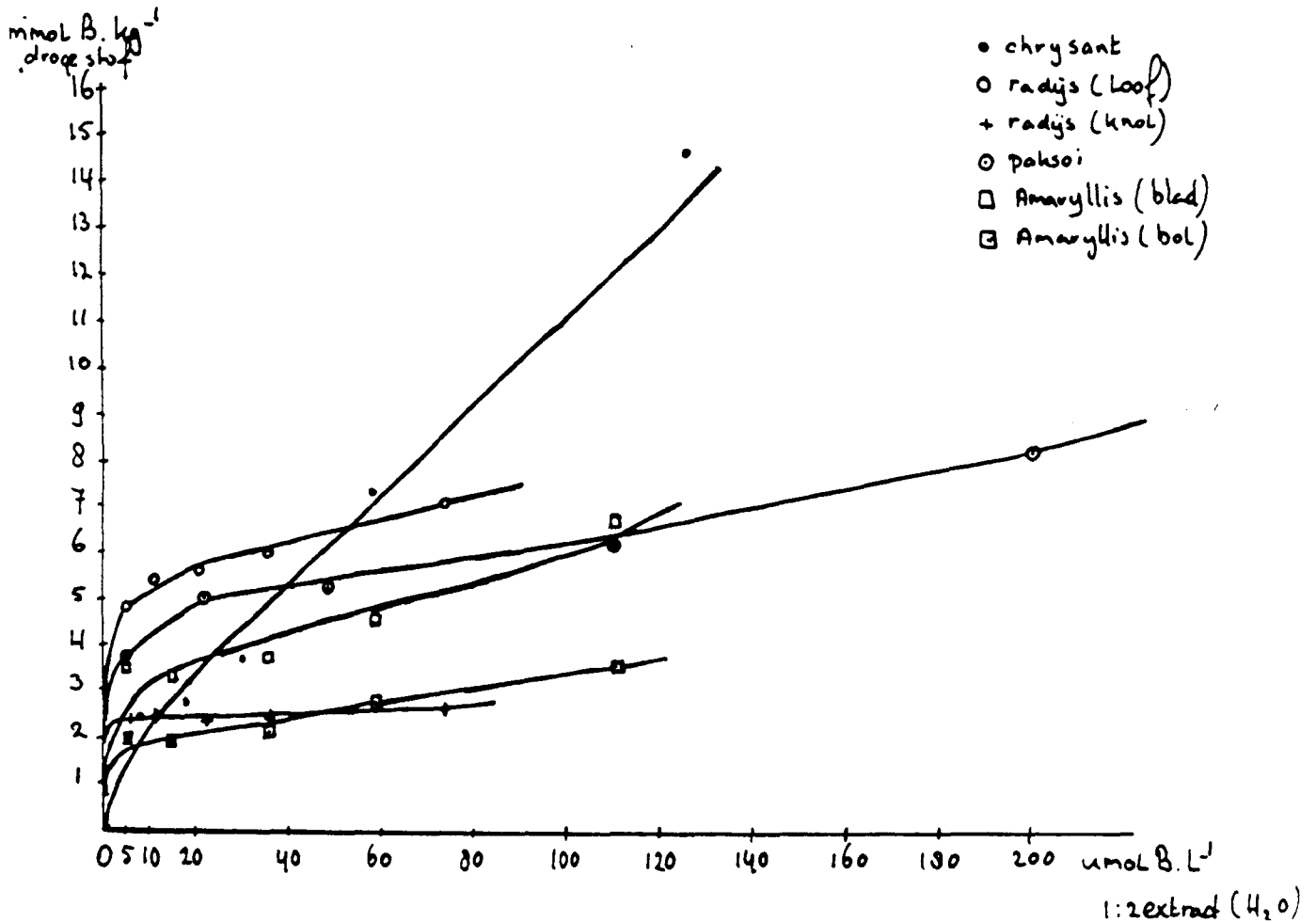
Richtingscoëfficiënt en intercept wijken iets af van eerder gegeven vergelijking.

De resultaten recent gepubliceerd door Nowozamsky et al. (1990) voor de relatie tussen "heet" en "koud" water extractie stemmen niet geheel overeen met die gevonden door ons. De regressiecoëfficiënt die zij vonden voor "koud" ten opzichte van "heet" water was 0.273. Dit houdt in dat in heet water ongeveer vier maal hogere waarden werden gevonden dan in koud water. In ons geval heeft de regressiecoëfficiënt een waarde van ongeveer twee, maar is een aanzienlijk intercept aanwezig. Gemiddeld werd voor de waarden u, v en w respectievelijk gevonden 58, 176 en 190 umol/kg droge grond. Hieruit blijkt dat v en w min of meer gelijke waarden opleveren en dat tussen u en v respectievelijk u en w een verhouding van ongeveer 3.0 aanwezig is. Dit wijkt niet te sterk af van Nowozamsky.

grote verschillen in herkomst van het materiaal en het verschil in extractieverhoudingen. Nowozamsky werkte met een grond/water verhouding w/w van 1:10.

3. RELATIE WORTELMILIEU EN GEWAS

Tussen boriumgehalten in grond en gewas wordt doorgaans een goed verband gevonden. Naast het boriumgehalte van de grond lijkt slechts alleen de pH van invloed te zijn op de boriumopname van gewassen. Een hoge pH vermindert de opname (Saarela, 1985; Eck and Campbell, 1962). Tussen boriumgehalten in grond, verkregen door waterige extractie en boriumgehalten in gewas worden doorgaans goede relaties gevonden. Het bepalen van borium met heet water is gebruikelijker dan met koud water. Saarela (1985) vond ook een nauwere correlatie met heet water voor knolraap. Het verband tussen het boriumgehalte in wortelmilieu en gewas blijkt soms lineair te zijn, maar is ook veelal kromlijng (Smith and Clark, 1989; Sonneveld en De Bes, 1984). Grote verschillen kunnen zich voordoen tussen gewassen voor wat betreft de opname (Gupta, 1970; Bingham et al., 1985; Francois, 1986). Opvallend zijn wat dat betreft ook de resultaten verkregen in een boriumtrappenproef op het Proefstation te Naaldwijk bij verschillende gewassen. Chrysant blijkt veel borium op te nemen en gevoelig te zijn voor boriumovermaat. Zie figuur 5.



Figuur 5. Het verband tussen het boriumgehalte van de grond (1:2 volume extract umol/l) en het boriumgehalte van enkele gewassen (mmol/kg droge stof).

Te hoge boriumgehalten veroorzaken opbrengstreducties. Evenals voor te hoge zoutgehalten een opbrengstreductie model is ontwikkeld is dit voor borium gedaan (Bingham et al, 1985; Francois, 1986). Hierbij wordt het boriumgehalte van het bodemvocht gebruikt. Drempelwaarden tussen 1 en 15 mg/l zijn vermeld en opbrengstreducties tussen 1.4 en 7.2% per mg/l. Door Maas (1984) worden drempelwaarden genoemd beneden 0.5 mg/l.

4. BORIUM IN DE PLANT

Tussen de boriumbehoefte van monocotylen en dictotylen bestaat blijkbaar een duidelijk verschil (Mengel and Krikby, 1978; Sauchilli, 1969). Bij monocotylen liggen de gehalten vaak op enkele mg per kg droge stof. Bij dicotylen is dit vaak 20 mg of hoger. Bij dicotylen

met een latexsysteem is het gehalte vaak nog hoger en wel 80 - 90 mg per kg droge stof.

Door Gupta (1979) is een uitgebreid overzicht gemaakt van gehalten in gewassen bij gebrek en overmaat. De grenzen waarbij gebrek of overmaat optreedt, hangen blijkbaar nogal af van de wijze van bemonsteren. Dit is een gevolg van de ongelijkmatige verdeling van borium tussen organen en ook binnen organen. De door Gupta verzamelde lijst is als bijlage 1 opgenomen in dit verslag. Ook uit de door Gupta verzamelde gegevens blijkt de lage boriumbehoefte van monocotylen. Voor veel andere gewassen blijkt een gehalte van minimaal 1 tot 4 mmol per kg droge stof noodzakelijk en voor sommige gewassen worden gehalten vermeld van 7 mmol per kg droge stof als een voldoende niveau. Overmaatverschijnselen kunnen zich voordoen bij zeer uiteenlopende gehalten. Het laagste niveau daarvoor wordt door Gupta genoemd voor boon (4 mmol/kg) en het hoogste voor "pasture gras" (> 80 mmol/kg).

5. VERDELING VAN BORIUM IN DE PLANT

Borium heeft de neiging zich vooral te verplaatsen naar sterk transpirerende delen van de plant. Bladeren, en met name oude bladeren, bevatten gewoonlijk het meeste borium (Shelp and Shattuck, 1987; Haydon, 1981). Het komt ook voor dat het jonge blad het hoogste boriumgehalte heeft. Dit lijkt echter alleen voor te komen bij lage gehalten aan borium (Gupta, 1977; Shelp and Shattuck, 1987). Opvallend is de boriumverdeling binnen een blad. De gehalten in bladranden of bladpunten kunnen een veelvoud bedragen van de gehalten in de overige bladdelen (Bert and Honma, 1975; Kohl and Oertli, 1961; Oertli, 1960). Vooral de gegevens van Kohl and Oertli gevonden voor lelies zijn opvallend. Zij bepaalden gehalten in bladsecties van iedere keer 2 mm verder van de punt. De gegevens zijn weergegeven in figuur 6.

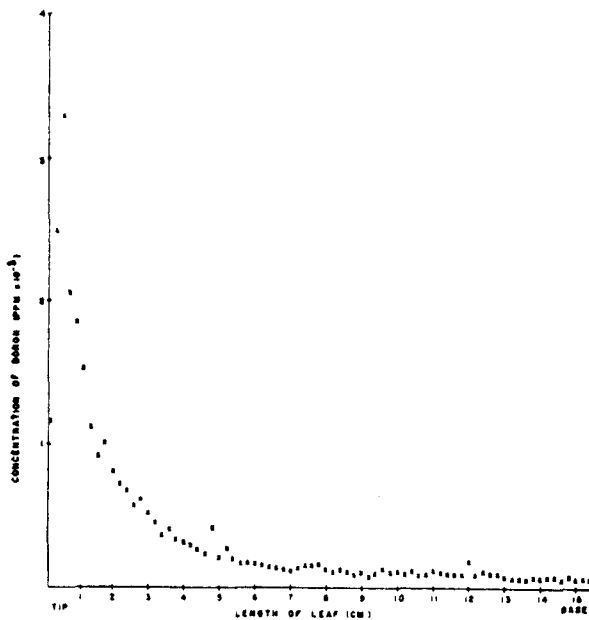


FIG. 1. The concentration of boron in 2 mm transverse sections of an Easter lily leaf indicating the regular increase in concentration from the base to near the tip. Data also indicate the accuracy of the method of analysis.

Figuur 6. De boriumverdeling in leliebladeren volgens Kohl and Oertli, 1961.

De gehalten aan borium in vruchtlichamen bij een gewas als bloemkool zijn doorgaans lager (Shelp and Shattuck, 1987). Ook in vruchten worden doorgaans veel lagere gehalten gevonden dan in bladeren (Smith and Clarck, 1989; Sonneveld, 1986b; Sonneveld, 1982; Sonneveld en De Bes, 1984). In knollen werden bij gangbare gehalten geen duidelijk afwijkende waarden gevonden in vergelijking met blad (Pieters, 1981). Hoe dit bij lagere gehalten ligt is uit de literatuur niet duidelijk. Door Francois (1986) wordt in de knollen van radijs ook een flinke toename van het boriumgehalte gevonden bij toenemende boriumgiften. De gehalten in het blad nemen echter sterker toe dan in de knol. Uit de vrij oude gegevens van Eaton (1944), die niet al te éénduidig zijn verzameld, wordt de tendens gevonden dat vruchtlichamen

(vruchten, graankorrels) doorgaans relatief arm aan borium zijn, ook bij hoge gehalten. In knollen of andere worteldelen kunnen wel flink hoge gehalten aan borium voorkomen. Maar de gehalten zijn wel lager dan in het blad, wat weer overeenstemt met Francois (1986).

5.1. BORIUMVERDELING IN PAPRIKABLAD

In 1988 trad op een bedrijf met paprika in steenwol vrij ernstig boriumgebrek op, ondanks het feit dat het boriumgehalte in de steenwolmat voldoende hoog was. De verschijnselen deden zich vooral voor in één bepaald ras met gele vruchten. Bij dit ras werden bladmonsters verzameld en onderzocht. Het blad werd hierbij verdeeld in bladsteel, bladbasis en bladtop. De verschijnselen kwamen vooral voor in de bladtoppen. Deze kleurden lichtgroen tot geel en voelden verdroogd (perkamentachtig) aan. Zieke en gezonde bladeren van dezelfde leeftijd werden afzonderlijk bemonsterd en als hiervoor omschreven verdeeld. De analyseresultaten zijn opgenomen in tabel 1.

Tabel 1. Boriumgehalten in gezonde en door boriumgebrek aangetaste bladeren. Gehalten in mmol/kg droge stof.

	Bladdeel	% droge stof	B-gehalte mmol/kg
Gezond blad	steel	9.7	3.05
	basis	15.4	1.95
	top	19.1	1.86
Ziek blad	steel	9.2	2.57
	basis	18.3	1.08
	top	24.2	0.77

Uit de resultaten blijkt, dat het droge stof-gehalte van de zieke bladdelen aanzienlijk hoger is dan bij het gezonde blad. Dit geldt vooral voor de bladtop die het ernstigste was aangetast. Waarschijnlijk is dit een gevolg van verdroging, omdat in de nerven van aangetaste bladeren vaak necroses worden aangetroffen, waardoor de

vochttoevoer naar het bladmoes belemmerd zal worden. De boriumgehalten spreken voor zich. In de zieke bladeren is de toevoer naar het blad blijkbaar onvoldoende geweest.

5.2 BORIUMVERDELING IN GUZMANIABLAD

Op een ander bedrijf werden dode bladpunten en necrotische stippen en strepen in het blad bij guzmania waargenomen. Aangetaste bladeren werden bemonsterd en onderzocht. Hierbij werden de bladeren gescheiden in een basisdeel en een topgedeelte. In het basisgedeelte werd 1.06 en in het topgedeelte werd 13.6 mmol/kg droge stof gevonden. In dit geval doet zich het merkwaardige feit voor dat in de basis een gehalte werd gevonden dat bijna op het niveau van B-gebrek moet liggen en in het topgedeelte een gehalte werd gevonden dat overmaatverschijnselen veroorzaakte. Hoe een dergelijke verdeling tot stand komt is nog niet duidelijk.

5.3 BORIUMVERDELING IN ANJERBLAD

In een proef met anjers in steenwol op de ROC te Vleuten werden anjerbladeren bemonsterd en verdeeld in een basis en een topgedeelte. Gemiddeld werd in de basisgedeelten 3.66 en in de topgedeelten 14.57 mmol/kg droge stof gevonden. Zoals blijkt een verdeling die min of meer evenredig is aan die van guzmania. Toch traden geen overmaatverschijnselen op bij de anjers.

5.4 BORIUMVERDELING IN HYPPEASTRUMBLAD

In een proef met hyppeastrum werden boriumtrappen aangelegd. Bij het gewasonderzoek werden bij een lage en een hoge boriumtoediening verschillende bladdelen onderzocht. Twee rassen waren opgenomen. In tabel 2 zijn de resultaten samengevat.

Tabel 2. Boriumgehalten in verschillende bladdelen bij twee hyppastrum cultivars. Gehalten uitgedrukt in mmol/kg droge stof.

Bladdeel	Cultivar			
	Appelblossom		Hercules	
	Laag B	Hoog B	Laag B	Hoog B
Punt	5.5	56.0	6.1	40.3
Midden	2.2	6.7	2.5	7.8
Basis	2.0	4.0	1.6	3.9

Bij laag B was het blad gezond en bij hoog B trad overmaat op. Zoals blijkt, treedt een sterke accumulatie op naar de punt van het blad. Dit is vooral het geval bij hoog B. De verschillen tussen de cultivars zijn niet groot.

6. BORIUMBEPALING IN GEWAS

Borium in gewasmonsters wordt gewoonlijk bepaald na verassing van de droge stof. Dit om hinderlijke storingen van de kleur van organische stoffen in het extract te voorkomen. Op het PTG is ook geëxperimenteerd met het bepalen van borium in het plantesap. In bijlage 2 zijn resultaten weergegeven van bepalingen uitgevoerd in een boriumtrappenproef bij anjer en in bijlage 3 zijn resultaten opgenomen van een dergelijke proef bij gerbera.

Voor anjer is een min of meer constante verhouding gevonden tussen de hoeveelheid geëxtraheerd in het plantesap en het totaal gehalte. In het plantesap blijkt ongeveer 80% van het totaal aanwezige borium te worden gevonden (bijlage 1). Voor wat betreft gerbera worden vrij eenduidige resultaten gevonden in het jonge blad. In het plantesap is 34 - 50% van het borium aanwezig. In het oude blad is de spreiding van dit percentage veel groter en wordt 12 - 50% van de borium in het plantesap gevonden (bijlage 2). Met de bepaling in plantesap is nog weinig ervaring opgedaan. Het lijkt gewenst ook in

andere gewassen bepalingen uit te voeren. Op grond van het geringe aantal bepalingen tot heden uitgevoerd kan nog geen uitspraak over de bruikbaarheid van de methode worden gedaan.

7. BORIUMGEBREK SYMPTOMEN

Symptomen van boriumgebrek kunnen zich in alle delen van de plant manifesteren: wortel, vegetatieve en generatieve delen. Veelal concentreren de beelden zich meer naar de jonge vegetatieve delen en de generatieve delen. Dit zou wijzen op een moeilijk transport van borium via het floëem. In de literatuur zijn zowel voor als tegen argumenten te vinden voor een lage mobiliteit van borium in het floëem (zie Van Goor, 1989).

De volgende beelden kunnen worden beschreven voor boriumgebrek.

- Afsterving van eindknoppen (Marlatt, 1978; Marschner, 1986; Mengel and Kirkby, 1978).
- Misvorming van jonge bladeren (Marlatt, 1978; Sonneveld, 1982).
- Het optreden van rand in sla wordt bevorderd (Chrisp et al., 1976).
- Geel tot lilakleurige vlekken in oudere bladeren (Pieters, 1981; Smilde en Roorda van Eijsinga, ongedateerd).
- Hartrot in gewassen als selderij en bieten (Pieters, 1981; Mengel and Kirkby, 1978).
- Bros worden van bladeren en daarmee samenhangend bladval (Pieters, 1981; Mengel and Kirkby, 1978; Marlatt, 1978).
- Necrose in bloembladen en bloemmisvorming (Boodley, 1973; Shorrocks, undated).
- Vruchtmisvorming en necroses op vruchtwanden (Marlatt, 1978; Mengel and Kirkby, 1978; Roorda van Eijsinga, undated).
- Inwendige of uitwendige bruinkleuring van vruchtlichamen, zoals bloemkool (Shelp and Shattuck, 1987; Mengel and Kirkby, 1978; Bergmann, 1983).
- Waterverzadiging van vruchtlichamen, zoals bloemkool (Gupta, 1979).
- Onvoldoende zaadsetting (Shorrocks, undated; Bergmann, 1983).
- Kurkvorming op bladeren, vruchten in nerven van bladeren (Mengel and Kirkby, 1978).
- Korte internodiën en bossige groei (Winsor and Adams, 1987; Gupta,

1979).

- Geremde wortelontwikkeling (Mengel and Kirkby, 1978).

8. BORIUMOVERMAAT SYMPTOMEN

Boriumovermaat symptomen treden veelal op in de oudere bladeren en dan veelal aan de bladranden waar het borium zich ophoopt (Kohl and Oertli, 1961; Bert and Honma, 1975). Aan de bladranden of bladpunten komen necrotische vlekken voor. Bolbladverschijnselen doen zich ook wel voor.

De volgende beelden kunnen worden beschreven voor boriumovermaat.

- Necrose van bladpunten (Kohl and Oertli, 1961; Gupta, 1979).
- Necrose aan bladranden (Francois, 1988; Smith and Clark, 1989; Ishida et al, 1988; Drews and Frank, 1980).
- Bolbladverschijnselen samenhangend met bladrandverschijnselen (Smith and Clark, 1989; Drews and Frank, 1980).
- Gele of lichtgroene vlekken beginnend vanuit de bladrand (Smith and Clark, 1989; Marlatt, 1978).
- De smaak van wortel- en knolgewassen kan bitter zijn (Francois, 1988).

9. CONCLUSIES

Grondonderzoek op borium vindt veelal plaats op basis van waterige extractie. Koud water zowel als heet water zijn gebruikelijk. Met heet water wordt meer borium geëxtraheerd dan met koud water. Ook de grond water verhouding is van belang bij de extractie.

Tussen boriumgehalten in gewas en boriumgehalten in grond bepaald met heet water is doorgaans een goed verband aanwezig. Voor buitencultures is de relatie met heet water extractie soms beter dan met koud water extractie. Voor kasteelten is daarover nog geen goed inzicht.

De opname aan borium is voor sommige gewassen lineair met de gehalten in het wortelmilieu. Soms wordt een duidelijk kromlijnige relatie gevonden. Dit is sterk naar gewas bepaald. Te hoge boriumgehalten in het gewas geven opbrengstreductie.

Borium is in de plant zeer onregelmatig verdeeld. De bemonstering is dan ook zeer bepalend voor de gehalten die worden gevonden. Gewasonderzoek op borium lijkt dan ook alleen zinvol als een duidelijke hypothese aanwezig is over de verdeling in de plant. Bij overmaat aan borium treden hoge gehalten op in bladpunten en bladranden van oudere bladeren. Gebrek aan borium uit zich in jonge bladeren, groeipunten en vruchten. Maar in dat geval is het bladdeel het verst van de steel juist het laagst in boriumgehalte. Oriënterende bemonsteringen van bladdelen toonden ook bij kasteelten zeer grote verschillen aan in boriumgehalten binnen bladdelen.

Boriumgebrekverschijnselen zijn zeer divers. Bij monocotylen treden soms geen gebreksverschijnselen op bij enkele tienden mmol per kg droge stof. De meeste gewassen lijken gehalten tussen 1 en 4 mmol/kg droge stof nodig te hebben. Boriumovermaat kan al voorkomen in gewassen bij gehalten boven 4 mmol/kg droge stof. Meestal kunnen planten hogere gehalten verdragen. Sommige gewassen verdragen vele tientallen mmol/kg droge stof.

LITERATUUR

Baker, A.S., 1971. Relation between available boron and boron extracted from soils by hot water or phosphoric acid. *Soil Sci. and Plant Anal.*, 2, 311-321.

Bergmann, W.J., 1983. Boron deficiency and toxicity symptoms. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.

Bert, J.S. and Honma, S., 1975. Effect of soil moisture and irrigation method on tipburn and edgeburn severity in greenhouse lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 100, 278-282.

Bingham, F.T., Strong, J.E., Rhoades, J.D. and Keren, R., 1985. An application of the Maas-Hoffman salinity response model for boron toxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 672-674.

Boodley, J.W., 1973. Boron deficiency and petal necroses of "Indianapolis White" chrysanthemum. *Hortscience*, 8, 24-25.

Chrisp, P., Collier, G.F. and Thomas, T.H., 1976. The effect of boron on tipburn and axin activity in lettuce, *Scientia Hort.*, 5, 215-226.

Drews, M. und Frank, R., 1980. Utersuschung zur Schadgrenze von Bor bei der Gewächshausgurke und Tomate. *Arch. Gartenbau*, 28, H5, 251-263.

Eaton, F.M., 1944. Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plant. *J. Agric. Res*, 69, 237-277.

Eck, P. and Campbell, F.J., 1962. Effect of high calcium application on boron tolerance of carnation, *Dianthus caryophyllus*. *Amer. Soc. Hort Sci.*, 81, 510-517.

Francois, L.E., 1986. Effect of excess boron on broccoli, cauliflower and radish. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 111, 494-498.

Francois, L.E., 1988. Yield and quality response of celery and crisphead lettuce to excess boron. *Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113, 538-542.

Goor, B. van, 1989. Borium, een element waar nog veel onbekend van is in de plantevoeding. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Intern Verslag, 1989, no. 48, 11 pp.

Gupta, U.C., 1970. Boron requirement of alfalfa, red clover, brussels sprouts and cauliflower grown under greenhouse conditions. *Soil Sci.*, 112, 280-281.

- Gupta, U.C., 1979. Boron nutrition of crops. Adv. Agron. 31, 273-307.
- Haydon, G.F. 1981. Boron toxicity of strawberry. Comm. Soil Sci. Plant. Anal. 12, 1085-1091.
- Ishida, A. Nukaya, A and Shigeoka, H., 1988. Effect of applied concentrations of boron and calcium on growth, vase life and marginal burn in chrysanthemums. J. Japan, Soc. Hort. Sci., 57, 273-278.
- Kohl, H.C. and Oertli, J.J., 1961. Distribution of boron in leaves. Plant Physiol. 36, 420-424.
- Maas, E.V., 1984. Salt tolerance of plants. C.R.C. Handbook of Plant Science in Agriculture, Vol II, 57-75.
- Marlatt, R.B., 1978. Boron deficiency and toxicity symptoms in *Ficus elastica* "Decora" and *Chrysalidocarpus lutescens*. Hortsci., 13, 442-443.
- Marschner, H., 1986. Mineral nutrition of plants. Academic Press, London.
- Mengel, K. and Kirkby, E.A., 1978. Principles of plant nutrition. Intern. Potash Inst., Berne, Switzerland.
- Nowozamsky, I., Barrera, L.L., Houba, V.J.G., Lee, J.J. van der and Eck, R. van, 1990, Comparison of a hot water and a cold 0.01 M CaCl_2 extraction procedures for determination of boron in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 21, 2189-2195.
- Oertli, J.J., 1960. The distribution of normal and toxic amounts of boron in leaves of rough melon. Agron. J. 52, 530-532.
- Offiah, O. and Axley, J.H., 1988. Improvement of boron soil test. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 19, 1527-1542.
- Pieters, J.H., 1981. Oorzaken en bestrijding van fysiologische afwijking "inwendig bruin" in knolselderij. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, Rapport 3-81, 31 pp.
- Roorda van Eijsinga, undated. Voedingselementen. Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk, Informatiereeks no 89.
- Saarela, I., 1985. Plant available boron in soils and the boron requirement of spring oilseed rapes. Annalis Agricultural Fenniae, 24, 183-265.
- Souchelli, V., 1969. Trace elements in Agriculture. Van Nostrand. Reinhold Company New York.

Shorroock, V.M., undated. Boron deficiency its prevention and cure. Borax House, Carlisle Place, London.

Shelp, B.J. and Shattuck, V.I., 1987. Boron nutrition and mobility, and its relation to hollow stem and the elemental composition of greenhouse grown cauliflower. J. Plant Nutr. 10, 143-162.

Smilde, K.W. en Roorda van Eijsinga, ongedateerd. Voedingsziekten bij tomaat geteeld onder glas. Uitgave IB, Haren en Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk.

Smith, G.S. and Clark, C.J., 1989. Effect of excess boron on yield and post-harvest storage of kiwifruit. Scientia Hort., 38, 105-115.

Sonneveld, C., 1982. Boriumtoediening bij tomaat in steenwol (proef 1981). Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk, Intern Verslag 1982, no. 40.

Sonneveld, C., and Bes, S.S. de, 1984. Micro nutrient uptake of glasshouse cucumbers grown in rockwool. Comm. Soil Sci. Plant. Anal., 15, 519-535.

Sonneveld, C., 1986a. Grondonderzoek op basis van waterige extractie, deel 2, Enkelvoudige lineaire correlaties. Intern Verslag Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas, 1986, nr. 31, 18pp.

Sonneveld, C., 1986b. Boriumopname bij paprika in steenwol (teelt 1984). Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk. Intern Verslag 1986, no. 15.

TABLE IV
Deficient, Sufficient, and Toxic Levels of Boron in Plants

Plant	Part of plant tissue sampled	PPM B in dry matter			References
		Deficient	Sufficient	Toxic	
Rutabaga (<i>Brassica napobrassica</i> , Mill)	Leaf tissue at harvest	20-38	38-140	>250	Gupta and Munro (1969)
	Leaf tissue when roots begin to swell	<12 severely deficient 32-40 moderately deficient	40	—	Gupta and Cutcliffe (1971, 1972)
	Roots	<12 severely deficient < 8 severely deficient	13	—	Gupta and Munro (1969)
Sugar beets (<i>Beta vulgaris</i> L.)	Blades of recently matured leaves	12-40	35-200	—	Hills and Ulrich (1976)
	Middle fully developed leaf without stem taken at end of June or early July	<20	31-200	>800	Neubert <i>et al.</i> (1970)
Cauliflower (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Botrytis</i> L.)	Whole tops before the appearance of curd	3	12-23	—	Gupta (1971b)
	Leaves	23	36	—	Wallace (1951)
	Leaf tissue when 5% heads formed	4-9	11-97	—	Gupta and Cutcliffe (1973, 1975)
Broccoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i> Plenck.)	Leaves	—	70	—	Wallace (1951)
	Leaf tissue when 5% heads formed	2-9	10-71	—	Gupta and Cutcliffe (1973, 1975)
Brussels sprouts (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>gemmifera</i> Zenker)	Leaf tissue when sprouts begin to form	6-10	13-101	—	Gupta and Cutcliffe (1973, 1975)
Carrots (<i>Daucus carota</i> L.)	Mature leaf lamina	<16	32-103	175-307	Kelly <i>et al.</i> (1952)
	Leaves	18	—	—	Smilde and Luit (1970)
Tomatoes (<i>Lycopersicon esculentum</i> , Mill)	Plants	14-32	34-96	91-415	Reeve and Shive (1943)
	Mature young leaves from top of the plant	<10	30-75	>200	Neubert <i>et al.</i> (1970)
	63-day-old plants	—	—	>125	MacKay <i>et al.</i> (1962)
Celery (<i>Apium graveolens</i> L.)	Petioles	16	28-75	—	Yamaguchi <i>et al.</i> (1958)
	Leaflets	20	68-432	720	Eaton (1944)
Potatoes (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	32-day-old plants	—	12	>180	MacKay <i>et al.</i> (1962)
	Fully developed first leaf at 75 days after planting	<15	21-50	>50**	Neubert <i>et al.</i> (1970)
Beans (<i>Phaseolus</i> spp.)	43-day-old plants	—	12	>160	MacKay <i>et al.</i> (1962)
Dwarf kidney beans (<i>Phaseolus</i> spp.)	Plants cut 50 mm above the soil	—	—	—	—
	Leaves and stems	—	44	132	Purves and MacKenzie (1973)
	Pods	—	28	43	Purves and MacKenzie (1973)
		—	—	—	—
White pea beans (<i>Phaseolus</i> spp.)	Aerial portion of plants 1 month after planting	—	36-94	144	Robertson <i>et al.</i> (1975)
Cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L.)	Mature leaves from center of stem 2 weeks after first picking	<20	40-120	>300	Neubert <i>et al.</i> (1970)
Spanish peanuts (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	Young leaf tissue from 30-day-old plants	—	54-65 18-20*	>250	Morrill <i>et al.</i> (1977)
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	Whole tops at early bloom	<15	20-40 15-20**	200	Meyer and Martin (1976)
	Top one-third of plant shortly before flowering	<20	31-80	>100	Neubert <i>et al.</i> (1970)
	Upper stem cuttings in early flower stage	—	30*	—	Melsted <i>et al.</i> (1969)

(continued)

TABLE IV—(continued)

Plant	Part of plant tissue sampled	PPM B in dry matter			References
		Deficient	Sufficient	Toxic	
Red clover (<i>Trifolium pratense</i> L.)	Whole tops	< 15	15-20	200	Martin <i>et al.</i> (1965)
	Whole tops at 10% bloom	8-12	39-52	> 99	Gupta (1972a)
	Whole tops	< 20	—	—	Barber (1957)
	Whole tops at bud stage	12-20	21-45	> 59	Gupta (1971b, 1972a)
	Top one-third of plant at bloom	—	20-60	> 60**	Neubert <i>et al.</i> (1970)
Birdsfoot trefoil (<i>Lotus corniculatus</i> L.)	Whole tops at bud stage	14	30-45	> 68	Gupta (1972a)
Timothy (<i>Phleum pratense</i> L.)	Whole plants at heading stage	—	3-93	> 102	Gupta and MacLeod (1973)
Pasture grass (<i>Graminae</i>)	Above-ground part at first bloom at first cut	—	10-50	> 800	Neubert <i>et al.</i> (1970)
Corn (<i>Zea mays</i> L.)	Leaf at or opposite and below ear level at tassel stage	—	10*	—	Meisted <i>et al.</i> (1969)
	Total above-ground plant material at vegetative stage until ear formation	< 9	15-90	> 100	Neubert <i>et al.</i> (1970)
Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Boot stage tissue	2.1-5.0	8	> 16	Gupta (1971a)
	Straw	4.6-6.0	17	> 34	Gupta (1971a)
Winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	Above-ground vegetative plant tissue when plants 40 cm high	< 0.3	2.1-10.1	> 10**	Neubert <i>et al.</i> (1970)
Oats (<i>Avena sativa</i> L.)	47-day-old plants	—	—	> 105	MacKay <i>et al.</i> (1962)
	Boot stage tissue	—	15-50	44-400	Jones and Scarseth (1944)
	Boot stage tissue	< 1	8-30	> 30**	Neubert <i>et al.</i> (1970)
	Boot stage tissue	1.1-3.5	6-15	> 35	Gupta (1971a)
	Straw	3.5-5.6	14-24	> 50	Gupta (1971a)
Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	Boot stage tissue	1.9-3.5	10	> 20	Gupta (1971a)
	Straw	7.1-8.6	21	> 46	Gupta (1971a)

*Considered critical.

**Considered high.

Borium in plantesap en totaal borium.

Onderzoek ROC-Vleuten, augustus 1988.

Anjer - B - trappenproef.

Jonge volgroeide bladeren

Totaal mmol/kg	Plantesap umol/l	<u>Plantesap *</u> totaal
2.87	488	0.80
4.53	766	0.80
4.63	823	0.84
5.00	863	0.81
7.11	1211	0.80
15.13	2443	0.76

* Omgerekend naar droge stof.

Droge stof was niet bepaald; dit op 17.5% gesteld.

Borium in plantesap en totaal borium.

Onderzoek C. de Kreij, 1990.
Gerbera gewas in B-trappen proef.

Jong blad.

Totaal mmol/kg	Plantesap umol/l	<u>Plantesap *</u> totaal
2.47	145	0.42
2.58	158	0.48
3.24	204	0.50
4.40	206	0.36
7.64	376	0.34

Oud blad.

3.88	156	0.26
4.58	162	0.12
9.51	306	0.19
9.88	846	0.50
2.96	86	0.18
3.50	123	0.22
3.68	236	0.41
15.22	1011	0.41

* omgerekend naar droge stof